

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **10263989 A**(43) Date of publication of application: **06.10.98**

(51) Int. Cl.

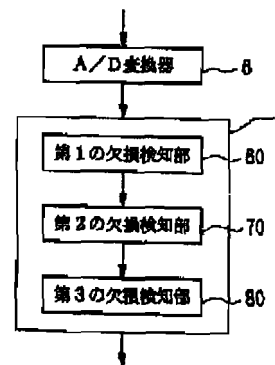
**B23Q 17/09**  
**B23B 49/00**
(21) Application number: **09070228**(71) Applicant: **MITSUBISHI MATERIALS CORP**(22) Date of filing: **24.03.97**(72) Inventor: **HISADA KIMIYA**  
**OZEKI HIROO**(54) **DEFECT DETECTING DEVICE AND DETECTING METHOD FOR ROTARY CUTTING TOOL**

COPYRIGHT: (C)1998,JPO

(57) Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To prevent erroneous defect detection even when cutting torque is fluctuated by the eccentricity of a tool by providing a defect detecting means making the final defect detection based on the output signal of a defect detecting means judging a defect based on different judgment indexes.

**SOLUTION:** Torque generated by an end mill is detected by a torque sensor in a cutting device, and a first defect detection section 60 obtains the maximum value of the cutting torque generated on the edge of a rotary cutting tool based on the output signal of an A/D converter 6 and judges the defect of the rotary cutting tool via this value. A second defect detection section 70 wavelet-converts the output signal of the A/D converter 6 and judges the defect of the rotary cutting tool. A third defect detection section 80 makes the final defect judgment of the rotary cutting tool based on the judged result of the first defect detection section 60 and the signal of the second defect detection section 70.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-263989

(43) 公開日 平成10年(1998)10月6日

(51) Int.Cl.<sup>8</sup>

識別記号

F I

B 2 3 Q 17/09

B 2 3 Q 17/09

E

B 2 3 B 49/00

B 2 3 B 49/00

C

審査請求 未請求 請求項の数9 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号

特願平9-70228

(22) 出願日

平成9年(1997)3月24日

(71) 出願人 000006264

三菱マテリアル株式会社

東京都千代田区大手町1丁目5番1号

(72) 発明者 久田 仁也

埼玉県大宮市北袋町1丁目297番地 三菱  
マテリアル株式会社総合研究所内

(72) 発明者 大関 宏夫

埼玉県大宮市北袋町1丁目297番地 三菱  
マテリアル株式会社総合研究所内

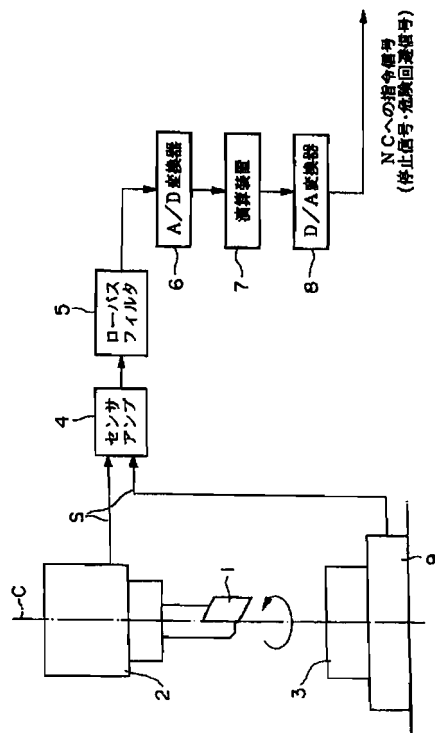
(74) 代理人 弁理士 志賀 正武 (外2名)

(54) 【発明の名称】 回転切削工具の欠損検知装置およびその検知方法

(57) 【要約】

【課題】 回転切削工具の切削トルクパターンを用いた回転切削工具の欠損の検知方法では、工具の欠損以外の要因、例えば工具の偏心等により誤った欠損検知を行ってしまう場合がある。

【解決手段】 回転切削工具に作用する切削トルクを検出するセンサを用いて、演算装置7内の、センサの出力信号より前記回転切削工具の刃に生じる切削トルクの最大値を求めて回転切削工具の欠損を判断する第1の欠損検知部と、センサの出力信号をウェーブレット変換し回転切削工具の欠損を判断する第2の欠損検知部と、この第1の欠損検知部と、第2の欠損検知部の判断結果より、回転切削工具の最終的な欠損検知を行う第3の欠損検知部の演算を行う。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 回転切削工具に作用する切削トルクを検出する検出手段と、

前記検出手段の出力信号より前記回転切削工具の刃に生じる切削トルクの最大値を求めて前記回転切削工具の欠損を判断する第 1 の欠損検知手段と、

前記検知手段の出力信号をウェーブレット変換し前記回転切削工具の欠損を判断する第 2 の欠損検知手段と、

前記第 1 の欠損検知手段の出力信号と、前記第 2 の欠損検知手段の出力信号より、前記回転切削工具の最終的な欠損検知を行う第 3 の欠損検知手段と、を備えたことを特徴とする回転切削工具の欠損検知装置。

【請求項 2】 前記第 1 の欠損検知手段は、前記検出手段による出力信号より前記回転切削工具の刃に生じる切削トルクの最大値を求めるトルクピーク検出手段と、

前記トルクピーク検出手段の出力である切削トルクの最大値と所定周期前の切削トルクの最大値との差を求めるトルク差演算手段と、

前記トルク差演算手段の出力値の絶対値と所定のしきい値との比較により前記回転切削工具の欠損を判断する第 1 の判断手段と、を備えたことを特徴とする請求項 1 記載の回転切削工具の欠損検知装置。

【請求項 3】 前記第 2 の欠損検知手段は、前記検出手段の出力信号をウェーブレット変換する変換手段と、

前記変換手段の出力値の絶対値と所定のしきい値との比較により前記回転切削工具の欠損を判断する第 2 の判断手段と、を備えたことを特徴とする請求項 1 記載の回転切削工具の欠損検知装置。

【請求項 4】 前記第 3 の欠損検知手段は、前記第 1 の欠損検知手段の出力信号が「欠損あり」で、かつ前記第 2 の欠損検知手段の出力信号が「欠損あり」の場合に、「欠損あり」と判断することを特徴とする請求項 1 記載の回転切削工具の欠損検知装置。

【請求項 5】 前記回転切削工具の欠損検知装置は、デジタル信号処理用演算器を備え、前記第 1 の欠損検知手段と前記第 2 の欠損検知手段を該デジタル信号処理用演算器により行うことを特徴とする請求項 1 記載の回転切削工具の欠損検知装置。

【請求項 6】 回転切削工具に作用する切削トルクを検出する検出ステップと、

前記検出ステップにより検出した切削トルクより前記回転切削工具の刃に生じる切削トルクの最大値を求めて前記回転切削工具の欠損を判断する第 1 の欠損検知ステップと、

前記検知ステップにより検出した切削トルクをウェーブレット変換し前記回転切削工具の欠損を判断する第 2 の欠損検知ステップと、

前記第 1 の欠損検知ステップの判断結果と、前記第 2 の

欠損検知ステップの判断結果より、前記回転切削工具の最終的な欠損検知を行う第 3 の欠損検知ステップと、からなることを特徴とする回転切削工具の欠損検知方法。

【請求項 7】 前記第 1 の欠損検知ステップは、前記検出ステップにより検出した切削トルクより前記回転切削工具の刃に生じる切削トルクの最大値を求めるトルクピーク検出ステップと、

前記トルクピーク検出ステップで求めた切削トルクの最大値と所定周期前の切削トルクの最大値との差を求めるトルク差演算ステップと、

前記トルク差演算ステップで求めた差の絶対値と所定のしきい値との比較により前記回転切削工具の欠損を判断する第 1 の判断ステップと、からなることを特徴とする請求項 6 記載の回転切削工具の欠損検知方法。

【請求項 8】 前記第 2 の欠損検知ステップは、前記検出ステップにより検出した切削トルクをウェーブレット変換する変換ステップと、

前記変換ステップで変換した所定の係数の絶対値と所定のしきい値との比較により前記回転切削工具の欠損を判断する第 2 の判断ステップと、からなることを特徴とする請求項 6 記載の回転切削工具の欠損検知方法。

【請求項 9】 前記第 3 の欠損検知ステップは、前記第 1 の欠損検知ステップの判断結果が「欠損あり」で、かつ前記第 2 の欠損検知ステップの判断結果が「欠損あり」の場合に、前記回転切削工具の最終的な欠損判断として「欠損あり」と判断することを特徴とする請求項 6 記載の回転切削工具の欠損検知方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、回転切削工具を用いた切削加工時における工具の欠損を検知する回転切削工具の欠損検知装置およびその検知方法に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】回転切削工具を用いた切削加工時における工具の欠損の検知は、回転切削工具の切削トルクのトルクパターンを利用して行われている。すなわち、新しい回転切削工具でテストワークを試験的に切削したときの切削トルクパターンから、回転切削工具の欠損に至る手前の危険トルクレベルを求め、予め設定しておく。そして、この回転切削工具で実際に多くのワークを切削するときに、切削時の切削トルクパターンを検知し、予め設定された危険トルクレベルと比較して、その回転切削工具の欠損の検知を行っている（特開平 6-198547）。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかし、回転切削工具の切削トルクパターンは、工具の欠損以外の要因、例えば工具の偏心により周期的に変動したり、びびり振動により変動したりする。そのため、上述の回転切削工具の

欠損検知方法では、この切削トルクパターンの変動により誤った欠損検知を行ってしまう場合がある。また、上述の回転切削工具の欠損検知方法では、工具の偏心等による切削トルクパターンの変動のため、欠損前のトルクパターンと欠損後のトルクパターンとの差が少なく、しきい値が的確な値でないと誤った判断がされるおそれがある。また、加工能力の向上を目的として、毎分数千回転程度の回転速度を数万回転にまで高速化することが予想される。このような工具の高速化にともない工具の損傷をより早期に発見するための高速な処理が求められて

【0004】本発明はこのような事情に鑑みてなされたもので、

- 1) 工具の偏心等による切削トルクが変動する場合でも、誤った欠損検知を行うことなく、
- 2) 欠損検知のためのしきい値設定が的確に行いやすく、
- 3) 実時間での処理が可能な程度に高速処理が可能な、回転切削工具の欠損検知装置およびその検知方法を提供することを目的とする。

【0005】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明のうち請求項1に記載の発明は、回転切削工具に作用する切削トルクを検出する検出手段と、前記検出手段の出力信号より前記回転切削工具の刃に生じる切削トルクの最大値を求めて前記回転切削工具の欠損を判断する第1の欠損検知手段と、前記検出手段の出力信号をウェーブレット変換し前記回転切削工具の欠損を判断する第2の欠損検知手段と、前記第1の欠損検知手段の出力信号と、前記第2の欠損検知手段の出力信号より、前記回転切削工具の最終的な欠損検知を行う第3の欠損検知手段と、を備えたことを特徴とする回転切削工具の欠損検知装置である。

【0006】また、請求項2に記載の発明は、請求項1に記載の回転切削工具の欠損検知装置において、前記第1の欠損検知手段が、前記検出手段による出力信号より前記回転切削工具の刃に生じる切削トルクの最大値を求めるトルクピーク検出手段と、前記トルクピーク検出手段の出力である切削トルクの最大値と所定周期前の切削トルクの最大値との差を求めるトルク差演算手段と、前記トルク差演算手段の出力値の絶対値と所定のしきい値との比較により前記回転切削工具の欠損を判断する第1の判断手段と、を備えたことを特徴としている。

【0007】また、請求項3に記載の発明は、請求項1に記載の回転切削工具の欠損検知装置において、前記第2の欠損検知手段が、前記検出手段の出力信号をウェーブレット変換する変換手段と、前記変換手段の出力値の絶対値と所定のしきい値との比較により前記回転切削工具の欠損を判断する第2の判断手段と、を備えたことを特徴としている。

【0008】また、請求項4に記載の発明は、請求項1に記載の回転切削工具の欠損検知装置において、前記第3の欠損検知手段が、前記第1の欠損検知手段の出力信号が「欠損あり」で、かつ前記第2の欠損検知手段の出力信号が「欠損あり」の場合に、「欠損あり」と判断することを特徴としている。

【0009】また、請求項5に記載の発明は、請求項1に記載の回転切削工具の欠損検知装置において、前記回転切削工具の欠損検知装置が、デジタル信号処理用演算器を備え、前記第1の欠損検知手段と前記第2の欠損検知手段を該デジタル信号処理用演算器により行うことを特徴としている。

【0010】次に、請求項6に記載の発明は、回転切削工具に作用する切削トルクを検出する検出ステップと、前記検出ステップにより検出した切削トルクより前記回転切削工具の刃に生じる切削トルクの最大値を求めて前記回転切削工具の欠損を判断する第1の欠損検知ステップと、前記検出ステップにより検出した切削トルクをウェーブレット変換し前記回転切削工具の欠損を判断する第2の欠損検知ステップと、前記第1の欠損検知ステップの判断結果と、前記第2の欠損検知ステップの判断結果より、前記回転切削工具の最終的な欠損検知を行う第3の欠損検知ステップと、からなることを特徴とする回転切削工具の欠損検知方法である。

【0011】また、請求項7に記載の発明は、請求項6に記載の回転切削工具の欠損検知方法において、前記第1の欠損検知ステップが、前記検出ステップにより検出した切削トルクより前記回転切削工具の刃に生じる切削トルクの最大値を求めるトルクピーク検出ステップと、前記トルクピーク検出ステップで求めた切削トルクの最大値と所定周期前の切削トルクの最大値との差を求めるトルク差演算ステップと、前記トルク差演算ステップで求めた差の絶対値と所定のしきい値との比較により前記回転切削工具の欠損を判断する第1の判断ステップと、からなることを特徴としている。

【0012】また、請求項8に記載の発明は、請求項6に記載の回転切削工具の欠損検知方法において、前記第2の欠損検知ステップが、前記検出ステップにより検出した切削トルクをウェーブレット変換する変換ステップと、前記変換ステップで変換した所定の係数の絶対値と所定のしきい値との比較により前記回転切削工具の欠損を判断する第2の判断ステップと、からなることを特徴としている。

【0013】また、請求項9に記載の発明は、請求項6に記載の回転切削工具の欠損検知方法において、前記第3の欠損検知ステップは、前記第1の欠損検知ステップの判断結果が「欠損あり」で、かつ前記第2の欠損検知ステップの判断結果が「欠損あり」の場合に、前記回転切削工具の最終的な欠損判断として「欠損あり」と判断することを特徴としている。

## 【0014】

【発明の実施の形態】以下、本発明の一実施形態による回転切削工具の欠損検知装置およびその検知方法を図面を参照して説明する。図1は、本発明の一実施形態による回転切削工具の欠損検知装置の構成図である。図において、符号1は回転切削工具の一種であるエンドミル、符号2は先端部にエンドミル1を把持する機構を有し、エンドミル1を回転することにより切削加工を行う切削加工装置である。なお、切削加工装置2にはエンドミル1に生じるトルクを検出するための磁歪式トルクセンサ

を備えてる。また、符号3は被加工物であるワークを表す。図において、エンドミル1は、切削加工装置2により軸線Cの回りに回転されつつ該軸線Cおよび該軸線Cに直交する送り方向に送られ、工作機器のテーブル上に載置されたワーク3の切削を行う。

【0015】このとき、切削加工装置2内のトルクセンサによりエンドミル1に生じるトルクを検出し、この信号Sはセンサアンプ4により信号の増幅が行われる。したがって、このセンサアンプ4の出力が切削トルクの大きさを示している。センサアンプ4の出力はカットオフ

周波数5kHzのローパスフィルタ5を介してA/D変換器6へ入力される。A/D変換器6はローパスフィルタ5の出力を周波数10kHzでサンプリングしてA/D変換し、演算装置7へ出力する。そして演算装置7により所定の演算が行われ、回転切削工具であるエンドミル1の欠損判断を行う。最後に演算装置7の出力は例えばD/A変換器8でアナログ変換され、停止信号や危険回避信号等の命令信号としてNC（数値制御装置）へ送られる。このとき、D/A変換器8を用いずに、演算装置7のデジタル出力を用いて、NCへの命令信号を送ってもよい。

【0016】次にこの回転切削工具の欠損検知装置における演算装置7の動作を説明する。図2は演算装置7内の構成を示す図である。図より演算装置7には、第1から第3の欠損検知部60、70、80を備え、これらにより回転切削工具の欠損検知が行われる。第1の欠損検知部60は、A/D変換器6の出力信号より回転切削工具の刃に生じる切削トルクの最大値を求め、この値を利用して回転切削工具の欠損を判断する。第2の欠損検知部70は、A/D変換器6の出力信号をウェーブレット

が2枚の場合のトルク信号の変化を示したものであり、図3(a)は、刃に欠損のないエンドミル1によるトルク信号を、図3(b)は一方の刃に欠損のあるエンドミル1によるトルク信号を示したものである。図3(a)において、符号a1はエンドミルの刃の1枚にかかるトルクの最大値を示し、符号a2はエンドミル1の他の刃にかかるトルクの最大値を示している。エンドミルの刃が2枚であることから、図より各刃にかかる最大値が交互に現れていることがわかる。また記号 $\Delta T a$ は、隣あうトルクの最大値の差であるトルク差を示している。このように刃に欠損のないエンドミル1を使用してもトルク差 $\Delta T a$ が生じるのは、工具の偏心等があるためである。一方図3(b)において、符号b1は欠損のない刃にかかるトルクの最大値を示し、符号b2は欠損のある刃にかかるトルクの最大値を示している。また記号 $\Delta T b$ は、隣あうトルクの最大値の差であるトルク差を示している。図において欠損した刃は欠損により負担が減るのでトルクが減り、欠損のない刃はその分負担が増えトルクが増す。図3(a)、(b)の比較よりエンドミル1の刃に欠損が生じると隣あう刃のトルクの最大値の差であるトルク差 $\Delta T$ が大きくなることがわかる。そこで、第1の欠損検知部60は、このトルク差 $\Delta T$ を用いて回転切削工具の欠損判断を行う。

【0018】図4は、第1の欠損検知部60の動作を説明するための図である。以下ではこの図を参照して第1の欠損検知部60の動作を説明する。まず、トルクピーク検出部61は、A/D変換器6からの信号より1刃ごとのトルクの最大値を検出する。この処理により図3のトルクの最大値a1、a2やb1、b2が求められる。このトルクの最大値の検出方法として、例えば、状態を示すフラグを設ける。そして、トルクが「1.5」以上でフラグが「ON」となり、所定時間経過後にトルクが「1.5」以下となるとフラグが「OFF」となるようにする。一方、このフラグが「ON」の範囲でトルクの最大値を求めることによりトルクピークを検出する。ここで、メモリ62内のデータを一刃前のトルクの最大値データ63としてレジスタに記憶するとともに、メモリ62に現在検出したトルクの最大値を保存する。そして、現在検出したトルクの最大値と一刃前のトルクの最大値データ63との差を求めることによりトルク差 $\Delta T \cdot 64$ を求める。次に、事前に設定されたトルク差のしきい値 $\Delta T r \cdot 65$ をメモリから読み出し、トルク差 $\Delta T$ の絶対値との比較を行い（符号66）、しきい値 $\Delta T r$ を越える場合には、欠損ありと判断し、信号「1」を出力し、そうでない場合には信号「0」を出力する。なお、トルク差のしきい値 $\Delta T r$ は、図5に示す切削断面積とトルクとの関係より、同一の切削断面積におけるトルク差 $\Delta T a$ 、 $\Delta T b$ を用いて、例えば、

$$\text{しきい値 } \Delta T r = (\Delta T a + \Delta T b) / 2$$

として設定しておくものとする。上述のようにして第1

の欠損検知部60は動作する。

【0019】次に、第2の欠損検知部70の動作を説明する。図6はセンサアンプ4の出力であるトルク信号の周波数解析結果を示したものである。はじめに、この図を用いて第2の欠損検知部70の欠損検知の原理を説明する。ここで、図6(a)は、刃に欠損のないエンドミル1によるトルク信号の周波数解析をした図を、図6

(b)は刃に欠損のあるエンドミル1によるトルク信号の周波数解析をした図を示したものである。図よりセンサ・工具系の固有振動数である800Hz付近の成分において、刃の欠損前後に差があることがわかる。そこで、第2の欠損検知部70は、トルク信号からこの固有振動数付近の周波数を抽出し、そのパワーの大きさより欠損判断を行う。

【0020】図7は、第2の欠損検知部70の動作を説明するための図である。以下ではこの図を参照して第2の欠損検知部70の動作を説明する。A/D変換器6からの信号は、所定数のサンプリングデータの記憶が可能なバッファ71に入力される。そして、ウェーブレット変換演算部72よりバッファ71内の所定の個数のサンプリングデータを用いてウェーブレット変換が行われ、固有振動数付近でのウェーブレット係数 $c_{jk} \cdot 73$ が出力される。そして、事前に設定されたウェーブレット係数のしきい値 $cr_{jk} \cdot 74$ をメモリから読み出し、ウェーブレット係数 $c_{jk}$ の絶対値との比較を行い(符号75)、しきい値 $cr_{jk}$ を越える場合には、欠損ありと判断し、信号"1"を出力し、そうでない場合には信号"0"を出力する。

【0021】以下では、ウェーブレット変換演算部72で行われるウェーブレット変換について説明する。信号の周波数成分を調べる場合、一般には高速フーリエ変換が用いられる。しかし、フーリエ変換に用いられる変換\*

$$\text{ウェーブレット係数 } c_{j,k} = 2^{-j/2} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \overline{\psi(2^{-j}t-k)} dt$$

$$\text{スケール関数 } d_{j,k} = 2^{-j/2} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \overline{\phi(2^{-j}t-k)} dt$$

但し、 $\phi(t)$  : スケール関数

なお、上式の「j」はレベルと呼ばれ、元信号に対する解像度である階層番号を示す。また、 $c_{j,k}$ はウェーブレット係数と呼ばれるものであり、信号の周波と時間分布を示す。そして、 $d_{j,k}$ はスケール関数と呼ばれ、元信号のj次の解像度の離散化表現となるものである。この離散ウェーブレット変換をデジタル技術で行うため、この実施形態では次式に基づいて演算を行う。

【0024】

【数3】

\* 基底は時間方向に無限に続くため、フーリエ変換を用いると信号の時間的情報が失われるという欠点がある。更に本実施の形態のようにディジタル変換した信号を用いる離散型のフーリエ変換を行う場合、所定量のサンプリングデータを1ブロックとし、ブロック単位にフーリエ変換を行うことになり、連続的に得られる信号をリアルタイムに処理することには適していない。そこで、本実施の形態では周波数解析の手段として、ウェーブレット変換を用いてる。ウェーブレット変換は変換基底が短いため、周波数的情報のみでなく時間的情報も得られ、かつ連続的に得られる信号に対して連続的な変換処理が可能であり、リアルタイムな処理に適している。ウェーブレット変換演算部72は、ローパスフィルタ5の出力波形 $\{f(t)\}$ とするをディジタル技術によってウェーブレット変換する装置である。

【0022】周知のように、波形 $f(t)$ のウェーブレット変換は次式で表される。

【数1】

$$W(b,a) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \overline{\psi\left(\frac{t-b}{a}\right)} dt$$

但し、 $W(b,a)$  : ウェーブレット変換

$\psi(t)$  : マザーウェーブレット

$a$  : スケールパラメータ

$b$  : トランスレートパラメータ

しかし、この式に基づくウェーブレット変換(連続ウェーブレット変換)は、信号処理が難しい等の問題があり、次式に示す「離散ウェーブレット変換」が用いられる場合が多い。

【0023】

【数2】

$$c_{j+1,k} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sum_l q_{l-2k} d_{j,l}$$

$$d_{j+1,k} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sum_l p_{l-2k} d_{j,l}$$

この数3において、係数群 $p$ および $q$ はウェーブレット変換のための変換基底であり、それぞれローパスフィルタおよびハイパスフィルタの役割を有する。よって(j+1)次のスケール関数 $d_{j+1,k}$ は、j次のスケール関数 $d_{j,k}$ より1つ下の解像度表現となり、解析可能な周波数および時間的な解像度がj次の1/2になる。一方、(j+1)次のウェーブレット係数 $c_{j+1,k}$

は  $j$  次のスケーリング係数  $d_{j,k}$  をハイパスフィルタに通すことにより得られ、スケーリング係数  $d_{j+1,k}$  と  $d_{j,k}$  の間の周波数成分を表すことになる。なお、この実施態様では、マザーウェーブレットとして、Daubechiesの正規直交ウェーブレットを用い、スケーリング関数を  $N=2$  としている。このDaubechiesの正規直交ウェーブレットを用いた実際の演算は行列式に基づいて行われる。なお、スケーリング関数が  $N=2$  の場合、 $p_0 \sim$  \*

\*  $p_3, q_0 \sim q_3$  が値をもち、ほかはすべてゼロとなる。このようにDaubechiesの正規直交ウェーブレットは、時間方向にコンパクトサポートであるという性質をもつため、計算がきわめて容易で、連続入力される信号の処理に特に適している。なお、このウェーブレットを用いた行列式は次のようになる。

【数4】

$$\begin{pmatrix} d_{1,0} \\ c_{1,0} \\ d_{1,1} \\ c_{1,1} \\ \vdots \\ d_{1,\frac{m}{2}-1} \\ c_{1,\frac{m}{2}-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p_0 & p_1 & p_2 & p_3 & 0 & \cdots & 0 \\ q_0 & q_1 & q_2 & q_3 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & p_0 & p_1 & p_2 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & q_0 & q_1 & q_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \cdots & p_0 & p_1 \\ 0 & 0 & \cdots & \cdots & q_0 & q_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} d_{0,0} \\ d_{0,1} \\ d_{0,2} \\ \vdots \\ d_{0,m-1} \end{pmatrix}$$

ここで、 $p_k$  および  $q_k$  は次式によって求められる。

【数5】

$$\textcircled{1} \quad p_k = 0, q_k = 0 \quad (k < 0 \text{ or } k \geq 2N)$$

$$\textcircled{2} \quad \sum_{k=0}^{2N-1} p_k = 2 \quad : \text{トウスケール関係より}$$

$$\textcircled{3} \quad \sum_{k=0}^{2N-1-2m} p_k p_{k+2m} = 0 \quad (m=1,2,\dots,N-1)$$

: 直交関係より

$$\textcircled{4} \quad \sum_{k=0}^{2N-1} (-1)^k k^l p_k = 0 \quad (l=1,2,\dots,N-1)$$

: モーメント=0より

以上の条件で方程式を解くと  $p_k$  が求められる。 $q_k$  については、

$$q_k = (-1)^k p_{2N-1-k}$$

なる式によって求められる。なお、数4の行列式では、 $m$  個のサンプリングデータ  $d_{0,0} \sim d_{0,m-1}$  に対して  $m \times m$  の行列  $T_m$  により1次のウェーブレット係数  $c_{1,0} \sim c_{1,m/2-1}$  およびスケーリング係数  $d_{1,0} \sim d_{1,m/2-1}$  を求めているが、2次のウェーブレット係数およびスケーリング係数は、1次のスケーリング係数  $d_{1,0} \sim d_{1,m/2-1}$  に対して行列  $T_m$  と同様の行列で大きさが  $(m/2) \times (m/2)$  の行列  $T_{m/2}$  を掛けることにより求

※めることができる。なお、3次の係数も同様に求められる。

【0025】以上がウェーブレット変換演算部72で行われる演算の内容であるが、このウェーブレット変換演算部72による演算をより具体的に示したものを図8に示し、この図を用いてウェーブレット変換演算部72の動作をより具体的に説明する。なお、以下の例では、バッファ71に、512点のサンプリングデータを納めることができるものとする。A/D変換器6よりサンプリング  $M$  時点のセンサ信号であるサンプリングデータ  $d_{0,M}$  が入力されると、すでに記憶されている  $d_{0,M-1}$  から  $d_{0,M-512}$  の512個のサンプリングデータから最も古いサンプリング ( $M-512$ ) 時点のサンプリングデータ  $d_{0,M-512}$  が消去され、 $d_{0,M}$  から  $d_{0,M-511}$  の512のサンプリングデータがバッファ内に記憶される。なお、以下では、このバッファ71内のサンプリングデータを新しく入力された順に  $d_{0,0}, d_{0,1}, \dots, d_{0,511}$  と呼ぶものとする。そして、ウェーブレット変換演算部72は、 $d_{0,488}$  から  $d_{0,509}$  の22サンプリングデータをバッファ71より読み出し、一次のスケーリング係数である  $d_{1,244}$  から  $d_{1,253}$  の演算を行う (ステップ1)。この演算は、数4の係数  $p_0$  から  $p_3$  を用いて、

$$\begin{aligned} d_{1,244} &= p_0 d_{0,488} + p_1 d_{0,489} + p_2 d_{0,490} + p_3 d_{0,491} \\ d_{1,245} &= p_0 d_{0,490} + p_1 d_{0,491} + p_2 d_{0,492} + p_3 d_{0,493} \\ d_{1,246} &= p_0 d_{0,492} + p_1 d_{0,493} + p_2 d_{0,494} + p_3 d_{0,495} \end{aligned}$$

$$d_{1,252} = p_0 d_{0,504} + p_1 d_{0,505} + p_2 d_{0,506} + p_3 d_{0,507}$$

$$d_{1,253} = p_0 d_{0,506} + p_1 d_{0,507} + p_2 d_{0,508} + p_3 d_{0,509}$$

により行う。そして、求めた10個の一次のスケーリング係数 $d_{1,244}$ から $d_{1,253}$ を用いて2次のスケーリング係数 $d_{2,122}$ から $d_{2,125}$ を求める(ステップs2)。この演算は、数4の係数 $p_0$ から $p_3$ を用いて、

$$d_{2,122} = p_0 d_{1,244} + p_1 d_{1,245} + p_2 d_{1,246} + p_3 d_{1,247}$$

$$d_{2,123} = p_0 d_{1,246} + p_1 d_{1,247} + p_2 d_{1,248} + p_3 d_{1,249}$$

$$d_{2,124} = p_0 d_{1,248} + p_1 d_{1,249} + p_2 d_{1,250} + p_3 d_{1,251}$$

$$d_{2,125} = p_0 d_{1,250} + p_1 d_{1,251} + p_2 d_{1,252} + p_3 d_{1,253}$$

により行う。そして、求めた4個の2次のスケーリング係数 $d_{2,122}$ から $d_{2,125}$ を用いて3次のウェーブレット係数 $c_{3,61}$ を求める(ステップs3)。この演算は、数4の係数 $q_0$ から $q_3$ を用いて、

$$c_{3,61} = q_0 d_{2,122} + q_1 d_{2,123} + q_2 d_{2,124} + q_3 d_{2,125}$$

により行う。そして求めた3次のウェーブレット係数 $c_{3,61}$ は固有振動数付近でのウェーブレット係数 $c_{jk} \cdot 73$ として出力される。

【0026】このように、A/D変換器6からサンプリングされたセンサ信号が新たにバッファ71に出力されるたびに、ウェーブレット変換演算部72は、22個のサンプリングデータを用いて図8のステップs1からステップs3を実行することにより、3次のウェーブレット係数を1個求める。このようにウェーブレット変換を用いることにより、少ないサンプリングデータから順次必要とする係数を求めることができるので、リアルタイムな処理が可能となる。なお、図8に示す演算において、ウェーブレット変換演算部72は、 $d_{0,498}$ から $d_{0,509}$ の22サンプリングデータをバッファ71より読み出し、ステップs1の演算を行っているが、これに限定されるものではなく、連続した22サンプリングデータであればよい。また、ウェーブレット変換演算部72は、バッファ71にサンプリングデータが入力される毎に3次のウェーブレット係数を1個求める演算を行っているが、これをバッファ71に新たに2つのサンプリングデータが入力される毎に3次のウェーブレット係数を1個求める演算を行うようにしてもよい。

【0027】ここで、固有振動数が800Hz付近の場合に、ウェーブレット変換演算部72が、3次のウェーブレット係数を出力している理由は次の通りである。図9は変換データと変換レベルとの関係を示す図であり、この図に示すように、初期データ $d_{0,k}$ に対し、レベル1の変換、すなわち1次の変換(第1回目の行列式演

算)を行うと1次の係数 $d_{1,k}$ 、 $c_{1,k}$ が得られるが、これにより得られた1次のスケーリング係数 $d_{1,k}$ が低周波数領域を、1次のウェーブレット係数 $c_{1,k}$ が高周波数領域を表している。ここで、元の波形 $f(t)$ (ローパスフィルタ5の出力)の周波数は5kHz以下であることから、レベル1の変換後は1次のスケーリング係数 $d_{1,k}$ が0~2.5kHzの領域を、1次のウェーブレット係数 $c_{1,k}$ が2.5kHz~5kHzの領域を表している。同様に、レベル2の変換後は、2次のスケーリング係数 $d_{2,k}$ が0~1.25kHzの領域を、2次のウェーブレット係数 $c_{2,k}$ が1.25kHz~2.5kHzの領域を表し、レベル3の変換後は、3次のスケーリング係数 $d_{3,k}$ が0~625Hzの領域を、3次のウェーブレット係数 $c_{3,k}$ が625Hz~1.25kHzの領域を表している。

【0028】一方、センサアンプ4から出力されるトルク波形 $f(t)$ の周波数は工具系の固有振動数で決まり、この実施形態の場合約800Hzである。そこで、この実施形態では625Hz~1.25kHzの領域を表しているレベル3、すなわち3次のウェーブレット係数である変換データ $c_{3,k}$ を求めて出力している。なお、ウェーブレット変換演算部72は、固有振動数付近のウェーブレット係数を出力するものであり、この固有振動数に応じて出力するウェーブレット係数の次数が変わることになる。図10は、ウェーブレット変換演算部72による3次のウェーブレット係数 $c_{3,k}$ の出力を示したものである。図10(a)はエンドミル1の刃に欠損のない場合の出力であり、図10(b)は刃に欠損のある場合の出力である。図10(a)と(b)を比較すると、刃に欠損のある場合には、3次のウェーブレット係数 $c_{3,k}$ の絶対値が大きくなることがわかる。

【0029】最後に第3の欠損検知部80の動作を説明する。第3の欠損検知部80は、第1の欠損検知部60の出力信号と、第2の欠損検知部70の出力信号より、回転切削工具の最終的な欠損判断を行う。ここで判断の方法としては、第1の欠損検知部60の出力信号と第2の欠損検知部の出力信号の論理和をとり、これを最終的な欠損判断結果として出力する。すなわち、第1の欠損検知部60の出力信号が「欠損あり」を意味する信号”1”で、かつ、第2の欠損検知部70の出力信号が「欠損あり」を意味する信号”1”の場合にのみ、最終的な判断結果として「欠損あり」を意味する信号”1”を出力する。これにより、指標の異なる複数の検知手法を用いて回転切削工具の欠損を検知することになり、工具の欠損検知の信頼性が高まることになる。なお、第1の欠損検知部60の欠損判断のための処理量と、第2の欠損



検知部 70 の欠損判断のための処理量とを比較すると、第 1 の欠損検知部 60 の方が少ない。そこで、演算装置 7 による処理量を減らすために、第 3 の欠損検知部 80 の動作として、第 1 の欠損検知部 60 の判断結果が「欠損あり」の場合のみ、第 2 の欠損検知部 70 による処理を行い、この第 2 の欠損検知部 70 の判断結果も「欠損あり」の場合には最終的な判断結果として「欠損あり」と判断して“1”を出力し、そうでない場合には、また第 1 の欠損検知部 60 による欠損判断にもどるよう制御してもよい。

【0030】なお、上記実施形態における回転切削工具の欠損検知装置として、演算装置 7 により第 1～第 3 の欠損検知部 60、70、80 の演算処理を行っていたが、演算処理装置 7 の代わりに、デジタル信号処理の専用プロセッサであるデジタル信号処理用演算器である DSP (Digital Signal Processor) を用いた、ソフトウェア処理により実現してもよい。DSP を用いることで高速な信号処理を行うことができ、リアルタイムな欠損検知が可能となる。また、上記実施形態における回転切削工具の欠損検知装置として、ローパスフィルタ 5 を A/D 変換器の前に設け、所定の周波数以上のカットオフを行っているが、第 2 の欠損検知部 70 で用いるウェーブレット変換はローパス的な効果を有するので、省いても問題ない。また、上記実施形態における回転切削工具の欠損検知装置として、切削加工装置 2 内にトルクセンサを設けこの信号 S をセンサアンプ 4 に入力して、欠損検知の処理に用いているが、このトルクセンサの信号 S の代わりに、被加工物であるワーク 3 と工作機器のテーブルとの間に、圧電素子または歪ゲージで構成された切削動力計 9 を設け、これにより間接的に回転切削工具にかかるトルクの検出を行い、この検出した信号 S をセンサアンプ 4 に入力して、欠損検知の処理に用いてもよい。ただし、この場合、第 1 の欠損検知部 60、第 2 の欠損検知部 70 において、切削動力計 9 で測定して求めたしきい値を用いるものとする。

#### 【0031】

【発明の効果】以上説明したように、本発明による回転切削工具の欠損検知装置およびその検知方法によれば、下記の効果を得ることができる。請求項 1 に記載の発明によれば、2 つの異なる判断指標により欠損を判断する欠損検知手段の出力信号により最終的な欠損検知を行う第 3 の欠損検知手段を備えている。このように、異なる複数の指標を用いて欠損判断をすることにより、工具の偏心等による切削トルクが変動する場合でも、誤った欠損検知を防止でき、欠損検知の信頼性が高くなる。

【0032】また、請求項 2 に記載の発明によれば、第 1 の欠損検知手段は、検出手段による出力信号より回転切削工具の刃に生じる切削トルクの最大値を求めるトルクピーク検出手段と、トルクピーク検出手段の出力であ

る切削トルクの最大値と所定周期前の切削トルクの最大値との差を求めるトルク差演算手段と、このトルク差演算手段の出力値の絶対値と所定のしきい値との比較により回転切削工具の欠損を判断する第 1 の判断手段とを備えている。刃に欠損が生じた場合、欠損の生じた刃のトルクピークは欠損前に比べ小さくなり、欠損のない刃のトルクピークは大きくなることから、欠損前後によるトルクピークの差が大きく異なり、しきい値設定を容易にすることができ、結果としての確な欠損検知ができる。

10 【0033】また、請求項 3 に記載の発明によれば、第 2 の欠損検知手段は、検出手段の出力信号をウェーブレット変換する変換手段と、この変換手段の出力値の絶対値と所定のしきい値との比較により回転切削工具の欠損を判断する第 2 の判断手段とを備えている。これにより、他の欠損判断指標として固有振動数付近の振動の強さを指標とした欠損判断ができ、欠損検知の信頼性を高めることができる。また、ウェーブレット変換を用いることにより、連続的な欠損判断を容易に実現することができる。

20 【0034】また、請求項 4 に記載の発明によれば、第 3 の欠損検知手段は、異なる 2 つの指標の欠損検知手段の出力信号が「欠損あり」の場合に、「欠損あり」と判断している。このように、異なる 2 つの指標による欠損判断がともに「欠損あり」の場合に、最終判断として「欠損あり」とするので、信頼性の高い欠損判断が可能となる。

30 【0035】また、請求項 5 に記載の発明によれば、回転切削工具の欠損検知装置は、デジタル信号処理用演算器を備え、第 1 の欠損検知手段と第 2 の欠損検知手段をこのデジタル信号処理用演算器により行なっている。デジタル信号処理に適した演算器を用いているので、高速な処理が可能となる。

【0036】また、請求項 6 に記載の発明によれば、2 つの異なる指標を用いた欠損検知ステップの判断結果を用いて最終的判断を行うステップからなる。このように、異なる複数の指標を用いて欠損判断をすることにより、工具の偏心等による切削トルクが変動する場合でも、誤った欠損検知を防止でき、欠損検知の信頼性が高くなる。また、複数の指標を用いて最終的な欠損判断をしていることから、単一の判断指標で判断する場合に比べ欠損検知のためのしきい値設定をあまり厳密に行わなくてもよくなる。

【0037】また、請求項 7 に記載の発明によれば、第 1 の欠損検知ステップが、検出ステップにより検出した切削トルクより回転切削工具の刃に生じる切削トルクの最大値を求めるトルクピーク検出ステップと、このトルクピーク検出ステップで求めた切削トルクの最大値と所定周期前の切削トルクの最大値との差を求めるトルク差演算ステップと、トルク差演算ステップで求めた差の絶対値と所定のしきい値との比較により回転切削工具の欠

損を判断する第1の判断ステップとからなる。刃に欠損が生じた場合、欠損の生じた刃のトルクピークは欠損前に比べ小さくなり、欠損のない刃のトルクピークは大きくなることから、欠損前後によるトルクピークの差が大きく異なり、しきい値設定を容易にすることができ、結果としての確な欠損検知ができる。

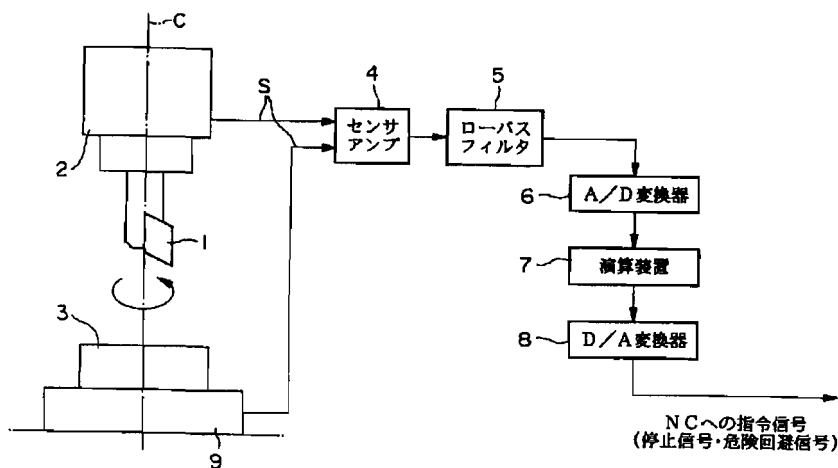
【0038】また、請求項8に記載の発明によれば、第2の欠損検知ステップが、検出ステップにより検出した切削トルクをウェーブレット変換する変換ステップと、変換ステップで変換した所定の係数の絶対値と所定のしきい値との比較により回転切削工具の欠損を判断する第2の判断ステップとからなっている。これにより、他の欠損判断指標として固有振動数付近の振動の強さを指標とした欠損判断ができ、欠損検知の信頼性を高めることができる。また、ウェーブレット変換を用いることにより、連続的な欠損判断を容易に実現することができる。

【0039】また、請求項9に記載の発明によれば、第3の欠損検知ステップは、2つの異なる指標の欠損判断結果がともに「欠損あり」の場合に、回転切削工具の最終的な欠損判断として「欠損あり」と判断している。このように、異なる2つの指標による欠損判断がともに「欠損あり」の場合に、最終判断として「欠損あり」とするので、信頼性の高い欠損判断が可能となる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の一実施形態による回転切削工具の欠損検知装置の構成図である。

【図1】



\* 【図2】 演算装置内の構成を示す図である。

【図3】 トルクピークおよびトルク差を説明するための図である。

【図4】 第1の欠損検知部の動作を説明するための図である。

【図5】 設定するしきい値を説明するための図である。

【図6】 回転切削工具の欠損前と欠損後の周波数解析結果を示す図である。

10 【図7】 第2の欠損検知部の動作を説明するための図である。

【図8】 パッファおよびウェーブレット変換演算部を説明するための図である。

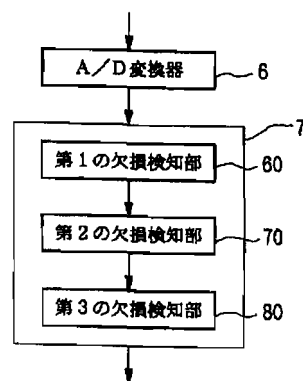
【図9】 ウェーブレット係数C3,kを用いる理由を説明するための図である。

【図10】 回転切削工具の欠損前と欠損後のウェーブレット係数C3,kの変化を示す図である。

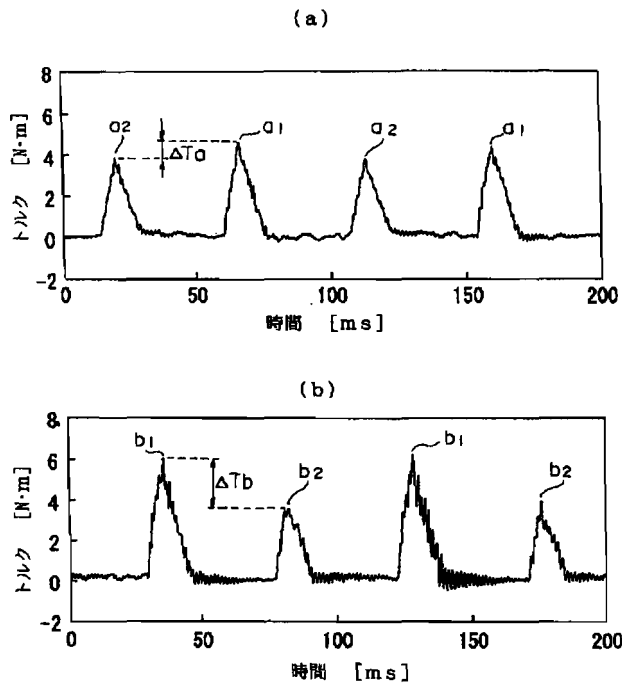
#### 【符号の説明】

- 1 エンドミル
- 2 切削加工装置
- 3 ワーク
- 4 センサアンプ
- 5 ローパスフィルタ
- 6 A/D変換器
- 7 演算装置
- 8 D/A変換器
- 9 切削動力計

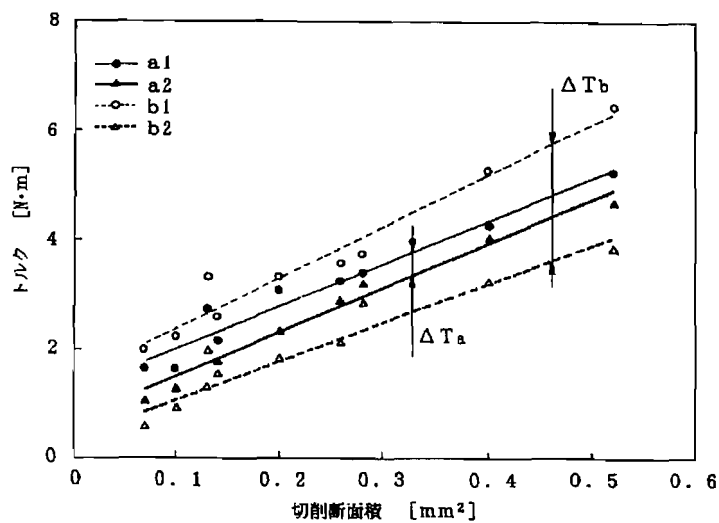
【図2】



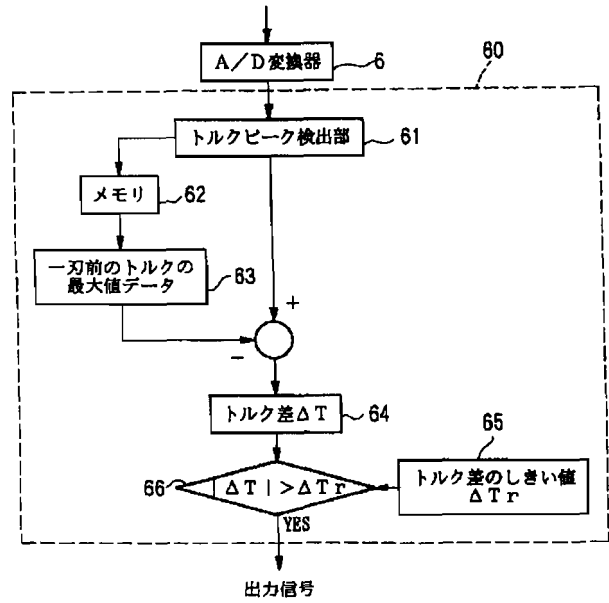
【図3】



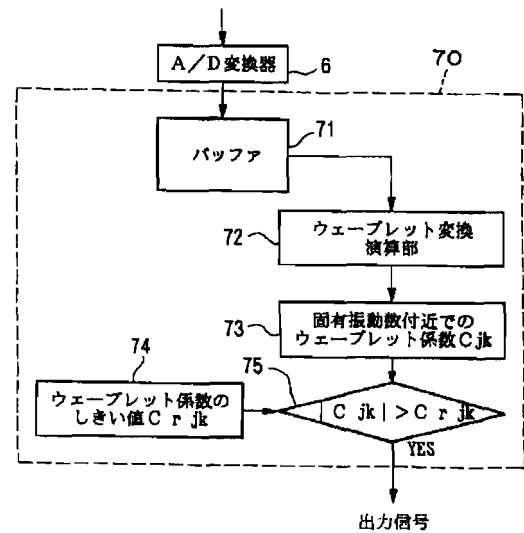
【図5】



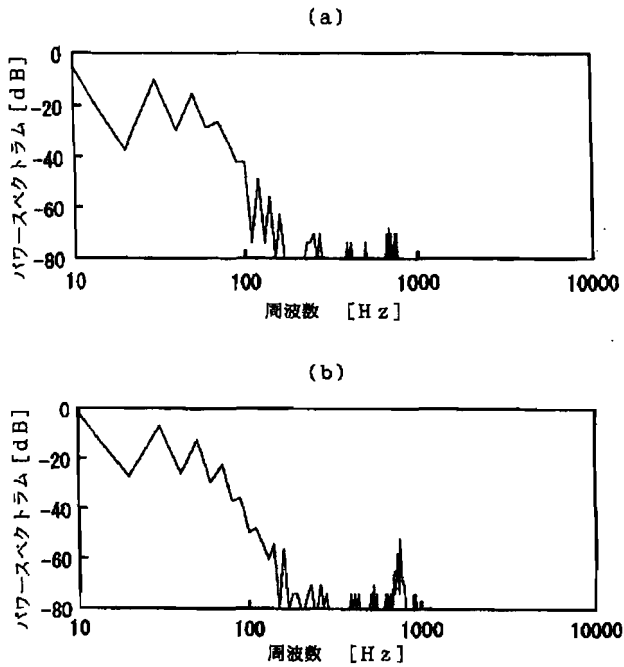
【図4】



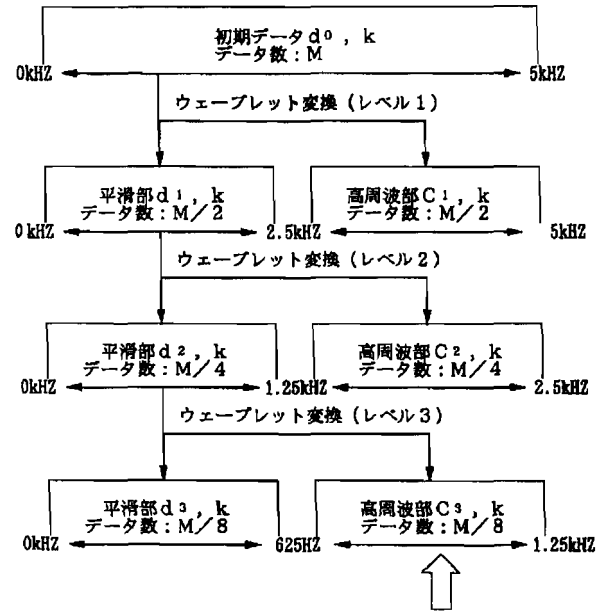
【図7】



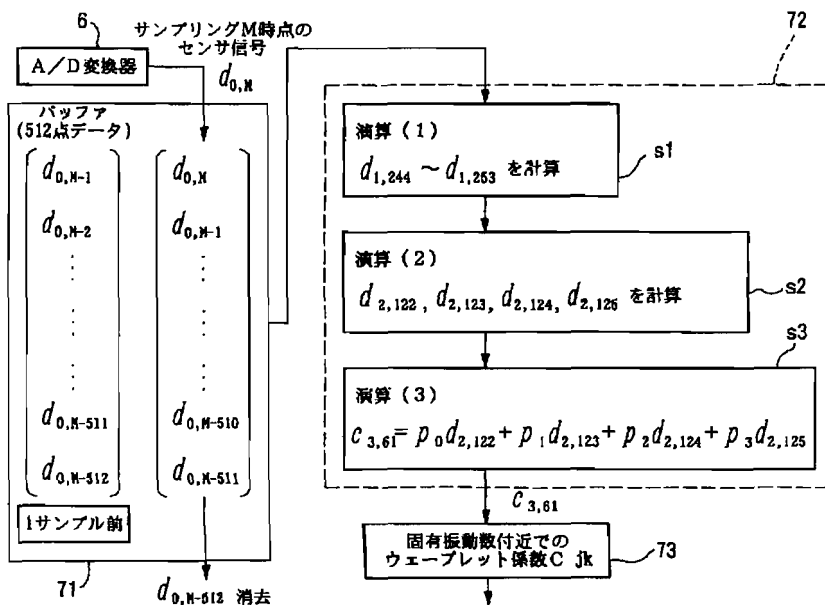
【図6】



【図9】



【図8】



【図10】

